

Study of Practical Solutions for Combinatorial Optimization Problems

著者	岡野 裕之
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	情第54号
URL	http://hdl.handle.net/10097/51181

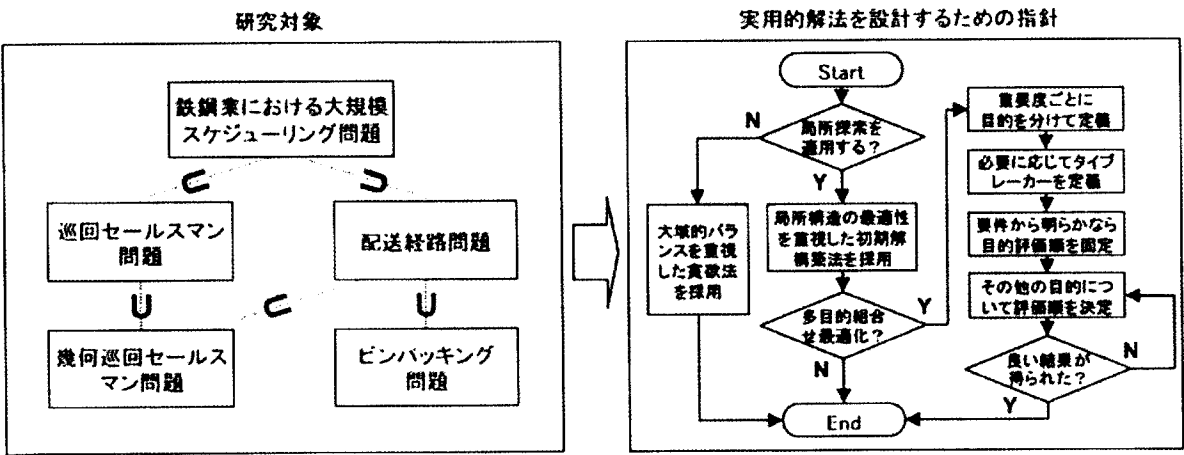
氏名（本籍地） 岡野 裕之
学位の種類 博士（情報科学）
学位記番号 情 第 5 4 号
学位授与年月日 平成21年 9月10日
学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当

論文題目 Study of Practical Solutions for Combinatorial Optimization Problems
(組合せ最適化問題の実用解法の研究)
論文審査委員 (主査) 東北大学教授 徳山 豪
東北大学教授 西関 隆夫 東北大学教授 篠原 歩
東北大学准教授 塩浦 昭義

論文内容の要旨

第1章 序論

本論文は、産業界に広い応用分野を持つ組合せ最適化を対象としたいいくつかの課題について議論する。実務では解法の選択肢をすべて実装し比較する時間的余裕がないため、対象問題の構造を深く理解した上で、実用的解法を設計する必要がある。また、実問題はしばしば大規模で複雑である。これに対し、対象問題を限定しない一般的解法や多くのチューニングを必要とするメタヒューリスティクスを議論した既存研究は必ずしも実務向きとは言えない。そこで本論文では、巡回セールスマン問題、配送経路問題に関する問題構造の分析を行い、これらの成果を利用して、鉄鋼業における大規模かつ複雑なスケジューリング問題に対する実用的解法を実現する。これら一連の研究を通して、組合せ最適化問題に対して実用的解法を設計するための指針を与える。



第2章 巡回セールスマン問題に対する高速初期解構築法と 2-Opt との関係

プリント基板の穴あけなどに応用のある、2次元平面上の巡回セールスマン問題を取り上げる。この問題に対しては、初期解構築法で初期解を生成し、2-opt と呼ばれるアルゴリズムで局所改善を行

うことが実用的とされる。しかし、2-opt で局所改善する場合、経験的に、質の悪い解を初期解とする方が最終的に良質の解が得られることがある。例えば、初期解自体としては最適性の高い追加法で生成した初期解に 2-opt を適用すると、処理時間の割には少ない改善しか得られない。一方、初期解自体としては最適性の低い近接法で生成した初期解に 2-opt を適用すると、大きな改善が得られ、追加法から出発した解よりも最終的に最適性の高い解が得られる。本研究ではこれを 2-opt 依存性と呼び、その発生構造を分析することで、2-opt を適用する場合に初期解構築法が持つべき性質を明らかにした。さらに、この知見に基づき 2-opt に適した初期解構築法を提案し、数値実験により短時間で高品質な解を生成できることを示した。

第3章 時間枠付き配送経路問題へのビンパッキング評価関数の適用

時間枠付き配送経路問題は、経路数最小化と移動時間最小化という2目的最適化であり、経路数最小化は局所探索では難しいとされていた。したがって、これまでは、経路数を削減するための別手段を局所探索と併用することが一般的であった。一方、ビンパッキング問題に対しては、局所探索でビン数を削減するための評価関数が知られている（ビンパッキング評価関数）。そこで本研究では、ビンパッキング評価関数に基づく、各配送経路の積載率のばらつきに関する第3の目的を導入することで、経路数の少ない解へ誘導する局所探索を提案した。この方法は、汎用的な局所探索の目的関数を変更するだけで簡単に実現でき、チューニング作業を必要としない実用的な方法である。さらに本研究では、ビンパッキング評価関数により、解地形にどのような変化がもたらされるかを詳細に分析した。

第4章 鉄鋼業における冷延工程スケジューリング問題

鉄鋼業において薄鋼板を製造する際の工程スケジューリング問題に対して、品質の高いスケジュールを短時間で計算するアルゴリズムを提案した。この問題の制約は非常に複雑であり、問題規模も大きく困難な問題である。従来は人手で計算が行われていたが、長期スケジュールの作成は困難であった。本研究では問題の構造を詳細に分析し、巡回セールスマン問題と配送経路問題との類似性を持つ最適化問題から構成される、多段階の多目的組合せ最適化問題としての新しい定式化を与えた。この定式化と、第2章および第3章で得られた研究成果を利用して、この問題に対して初めて実用的解法を実現した。

この問題では、納期遅れ最小化と段取り時間最小化が互いにトレードオフの関係であり、単純にこれらを重要度順に考慮しただけでは望ましい解が得られない。しかし、パラメータ・チューニングの必要性をできるだけ排除するため、これらの目的に関する線形結合として目的関数を定義することは避け、違反の度合や重要度に応じて1つの目的を異なる2つの目的に分けて定義したり、段取り替えの位置によって勝負を分けるタイブレーカーを定義するなどして、重要度順による多目的最適化の枠組みの範囲で実用的な解法を設計した。

第5章 結論

巡回セールスマン問題と配送経路問題の研究で得られた知見を踏まえて、鉄鋼業における大規模な組合せ最適化問題であるフィニッシング・ライン・スケジューリングの研究を行い、実用的な解法を開発した。また、これら一連の研究を通して、大規模で複雑な組合せ最適化問題に対して実用的解法を設計するための指針を与えた。

論文審査結果の要旨

組合せ最適化とは、離散的な解集合の中から、与えられた評価尺度（目的関数）を最適化する解を求める技法であり、生産計画やロジスティクスなど、情報システムやソフトウェアの開発で広く利用されている。現代のシステムやソフトウェアの品質保証のためには、大規模な組合せ最適化問題の効率的求解が必要不可欠であるが、多くの問題において、多項式時間解法の設計が理論的に困難であり、実用的な高速解法を開発することが大きな課題である。この課題に関して著者は、組合せ最適化問題の代表例である巡回セールスマン問題と配送経路問題の実用解法の構造を解析し、その知見を基盤に、従来不可能とされていた現実の大規模工程スケジューリング問題の解明を行い、有効な解法を開発した。本論文は、これらの成果をとりまとめたものであり、全編5章からなる。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、巡回セールスマン問題に対する2-opt局所改善手法の性能向上について議論している。本研究では2-opt法の性能と初期解の依存関係を分析し、2-opt法の初期解として持つべき性質を明らかにした。さらに、この知見に基づき、2-opt法に適した初期解生成アルゴリズムを構築し、その性能を数値実験により評価し、短時間で高品質な解を生成できることを示した。

第3章では、配送経路問題における局所探索法の性能向上手法について議論している。配送経路問題は、経路数最小化と移動時間最小化という二目的最適化問題であり、離散値である経路数の削減は局所探索法では難しいとされていた。本研究では各配送経路の長さのバランスに関する第3の目的関数を導入することによって、経路数の少ない解へ誘導する局所探索手法を提案した。提案する解法は、汎用的な局所探索手法の目的関数を変更するだけで設計できるため、効率的かつ実装が容易である。このことから、この研究は優れた提案として評価できる。

第4章では、鉄鋼業において薄鋼板を製造する際の工程スケジューリング問題に対して、品質の高いスケジュールを短時間で計算するアルゴリズムを提案している。この問題の制約条件は非常に複雑である。また、決定変数は数万のオーダーであり、問題の規模も非常に大きいため、従来は長期スケジュールの作成は現実的な計算時間では不可能であった。本研究ではこの問題の構造を詳細に分析し、巡回セールスマン問題や配送経路問題と類似した複数の最適化問題から構成される、多段階の多目的組合せ最適化問題として新たに定式化した。この定式化と、第2章および第3章において得られた研究成果を利用し、高性能な実用アルゴリズムの構築に初めて成功した。提案する手法は、実社会で要求される複雑な最適化システムの設計技法として高く評価できる。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は実社会で生じる計算困難な組合せ最適化問題の構造を多角的に分析し、実用的に有効な解法を実現したものであり、組合せ最適化ならびに、システム情報科学の発展に寄与するところが少なくない。よって、本論文は、博士（情報科学）の学位論文として合格と認める。